

# 衛星データを用いた石垣島轟川流域における 赤土流出域の検出

—植生・土地被覆・表層地質などを考慮に入れた土壤環境評価—

中 島 亮

## 1. はじめに

1960年以降、沖縄島北部を中心とした南西諸島の島々で、土地利用形態の改変により、降雨時などに多量の赤土がサンゴ礁に流出している（岡本ほか 1992）。その赤土による海水の汚濁は、多くのサンゴを死滅させている。しかし、八重山諸島石垣島の一部では比較的狀態のよいサンゴ礁が存在していた（吉嶺 1991）。特に白保のリーフは、状態のよいサンゴの生息域として知られている。しかし、白保リーフに注ぐ轟川流域でも、赤土の流出が激しくなっている（WWF 1995）。

このような轟川流域で、土地改変の現状を知ることは土壤侵食の監視・予測・サンゴ礁に与える影響を知る上で重要である。しかし、そのためには、急激に変化する土地被覆を定期的に調査し、現状を的確に捉えなければならない。また、土地被覆・土壌・地形などから土壌流出の環境評価を行い、同時に予測することも重要である。

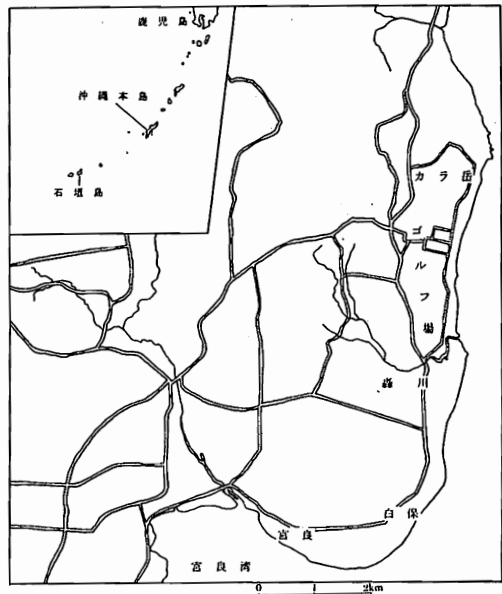
本研究の目的は、衛星データを使って赤土流出域を検出し、土地被覆・地質・地表保水力・地形などから轟川流域の環境評価することである。

## 2. 調査地域の概要

轟川は、カラ岳の西側にある丘陵地を源として、3本の支流が合流した後白保地区の北側を通り、東海岸に広がるサンゴ礁（裾礁型）の浅海域に注ぐ。河川全長3.1 km、流域面積12.42 km<sup>2</sup>の小河川である（図1）。

次に轟川流域の地質、植生と栽培作物に関して記載する。

①地質：地質は、トムル層を基盤とし、それをおおう琉球石灰岩と沖積層で構成される。



1 / 50000 地形図より作成

図1 調査地形図

分布状況は、トムル層が轟川上流域、琉球石灰岩がトムル層を覆って河川兩岸の台地を中心に分布する。沖積層は下流域の河川沿いから河口付近に分布する。これらの母岩は、トムル層地区が国頭マージ、琉球石灰岩地区が島尻マージ、沖積層が沖積土壌に区分される（沖縄県環境保全課 1994）。

②植生と栽培作物：植生を大別すると、樹林地・草地（牧草地／ゴルフ場）・サトウキビ・パイナップル・稲・雑草地となる。栽培作物は、サトウキビ・パイナップル・稲で、それぞれの収穫時期は大きく異なる。

サトウキビは、植え付けから収穫まで1年半かかり、3月収穫と9月収穫の2種類がある。パイナップルの収穫サイクルは6～8年である。植え付けから収穫まで2～3年・収穫可能期間が3年・畑を掘起して1～2年放置する。稲は基本的に2期作だが3期作のところもある。また、牧草地の収穫時期は決まっていない。梅雨期を迎える5月から7月にかけては、主作物のサトウキビの植え付け後で、半裸地または裸地状態の畑が多いため、流出の危険性が一番高い（沖縄県環境保全課 1994）。

### 3. 評価手法

#### 1) 評価因子の設定

土壤環境評価は、評価の要素について設定が必要である。評価対象物は、降雨・土壌・地形・植生が挙げられる。本研究では、高橋・村井（1992）を参考に評価の尺度を評価因子と定義し、次の5つ項目を各評価因子に位置付けた。

①植生を中心とする土地被覆状況、②植生被

覆変化状況、③地表保水力、④表層地質、

⑤地形

①～⑤の各評価因子に関するデータは、解析処理や処理後にメッシュをかけ解析する。沖縄県環境保全課（1994）のメッシュは100×100mだが、衛星データを使うため、TMの解像度（30×30m）に合わせやすい90×90mメッシュを作り解析する。この過程を図2に示した。

①植生を中心とする土地被覆状況

土地被覆状況は、作物管理係数の代用とする。理由は土地被覆状況が土壌流出に強い関連があり、植生の被覆状況は土壌流亡量を大きく左右するためである（灘岡・田村 1992）。

②植生被覆変化状況

土地被覆変化状況は保全係数の代用とする。USLE式の保全係数は、土壌侵食防止の人為的な対策効果に関する指数である（沖縄県環境保全課 1994）。しかし、流域内の畑で人為的な侵食防止を施しているところはほとんどない。そこで、複数年で植被率の低い地域は保全係数も低いと判断し代用した。

③地表保水力

地表保水力は、降雨係数の代用とする。この地域で降雨係数は、報告例がない（沖縄県環境保全課 1994）ため、降雨に対して、「どのくらい保水する能力があるのか」という視点から地表保水力を用いた。地表保水力は、NVI（Normalized Vegetation Index）と傾斜度（本研究では地形係数）から流出率を推定する式を使い  $1 - (\text{流出率}) = \text{保水率}$  という保水力推定式を使う（高橋・村井 1992）。

④表層地層

土壌は、トムル層片岩地域は国頭マージ、琉球石灰岩地域は島尻マージ、沖積層グライ土

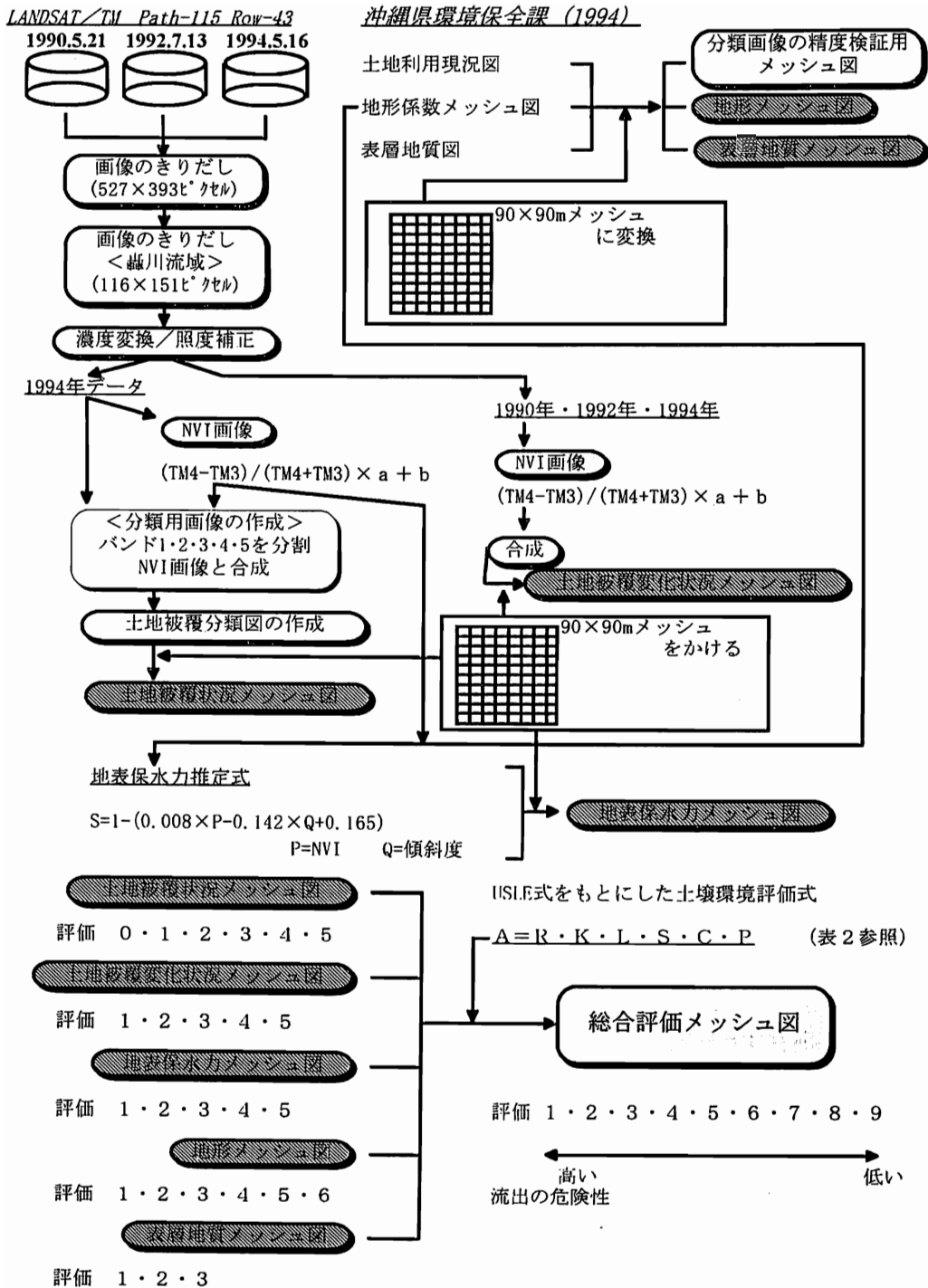


図2 フローチャート

壤地域は沖積土壌の3つである。この中で国頭マージと島尻マージは、調査報告から国頭マージ＝受食性、島尻マージ＝耐食性が認められている。また、沖積土壌は有機含量が国頭マージより高いことから、少なくとも国頭マージより耐食性が高いとされている（沖縄県環境保全課 1994）。そのため受食性は、国頭マージ＞沖積土壌＞島尻マージとなる。

#### ⑤地形

地形（USLE式では地形係数）は、斜面長係数（畑地面の斜面長（L））・斜面係数（勾配（S））の値を用いて、次式より算出することができる。

$$LS = (I / 20.0) 0.5 (68.19 \sin^2 \theta + 4.75 \theta + 0.068)$$

I＝斜面長（m） θ＝勾配（度）

この式から作成された地形係数メッシュ図（沖縄県環境保全課（1994））を編集して用いる。

## 2）総合評価の手法

総合評価は、上記5つの評価因子から求める。総合評価に用いる計算式は、米国農務省の農地保全基準であるUSLE式から、日本に合わせて修正した土壌流亡式の係数を本研究の評価因子に当てはめ、土壌環境評価式として定義した。

## 4．解析方法

### 1）衛星データの前処理

#### ①画像データの切り出しと幾何補正

まず前処理は、画像を轟川流域に沿って切り出す。1／25000の地形図と国土地理院発行の数値地図から得た経緯度を基準点に当て

はめ、94年の画像に幾何補正を施した。その他の画像は、94年の画像に合わせ、誤差1ピクセル内に幾何補正を行った。

#### ②濃度変換／照度補正

衛星データの濃淡情報は、原画像だと対象物や観測機器の特性・観測条件などで、表示される画像の濃淡や明るさが衛星データごとで異なっていることが多い。また、同一地域・同一センサーでも、異なる時期に観測された画像は、輝度特性が大きく違っている。こういった場合、あるデータを基準としてその他のデータの標準偏差と平均値を基準に合わせる輝度補正を行って解析をより正確なものにした。

## 2）植生を中心とした土地被覆分類

### ①土地被覆分類

土地被覆分類に、植生の被覆率に対応して増減する（灘岡・田村 1992）N V I（Normalized Vegetation Index）を用いる。N V Iは正規化植生指標と呼ばれ、植生とそれ以外の可視赤色領域と近赤外領域の差異関係から求められる。このN V Iは、植生の被覆が極端に密ではなくある程度被覆率が低いとき、植生の被覆状況に対応してN V Iが増減することが明らかになっている（灘岡・田村 1992）。土壌流出量は植生の被覆度合いが強くかわっているとされている（灘岡・田村 1992）ため、N V Iをもちいることが有効であると判断した。

### ②カテゴリー設定

カテゴリー設定と評価設定は、対象地域の土地利用の特徴と土壌流亡量さらに時期的考慮も含められている。また、土地被覆分類で使用するデータの観測時期は5月であるため、

半裸地状態の地域（低植被地）が存在している。このため低植被地を一つのカテゴリーに設定する必要があり、グラントルースデータから算出したNVI値を用いる。

### ③分類作業と精度検証

分類作業（ポイントトレーニング）は、1クラスにつき100ポイントを目安としておこなう。また、分類には、各クラスの尤度を求め尤度最大のクラスにその画素を分類する最尤法を用いる。

検証方法は、土地利用現況図に90×90mメッシュをかけ、1ブロック内で一番占有しているカテゴリーをそのブロックの代表的土地利用とし、精度検証のためのメッシュ図を作成する。そして、作成された分類画像にも同じメッシュをかけ両者の比較から精度を求める。

## 3) 植被変化状況の解析

### ①NVI画像の作成

1990、1992、1994のそれぞれのNVI画像作成についてチャンネル間演算を次式によりおこなう。

$$NVI = (TM4 - TM3) / (TM4 + TM3) \times a + b$$

a = ゲイン      b = オフセット

この式でaはコントラストに関する係数bは画像の明るさに関する係数である。

### ②画像合成と色彩表現

作成されたNVI画像は、合成して1990、1992、1994にRGBを割り当てて変化地を抽出する。画像の合成と色の割り当てによって抽出される植被変化状況画像は、3つの年の植被状態によって色彩が異なるため、どのような変化を表すかを分析する。

## 4) 地表保水力の解析

地表保水力は、保水力推定式（次式）によって表される（高橋・村井 1992）。

$$S = 1 - (0.008 \times P - 0.142 \times Q + 0.165)$$

$$S = \text{保水率} \quad P = NVI \quad Q = \text{傾斜度}$$

評価は、上記の式にPとQ値を代入して求められた値を5段階に分け、それを地表保水力の評価とした。そしてこの評価に色を割り当て地表保水力メッシュ図（90×90mメッシュ）を作成する。

## 5) 表層地質分類と地形係数

表層地質と地形係数は、既存のデータから編集して用いる。他の処理と同様に、90×90mメッシュをかけ1ブロック内で一番占有している図のカテゴリーをそのブロックの代表値として設定し、それぞれ色を割り当てた図を作成する。

## 5. グラントルースデータ

### 1) グラントルースデータの取得目的

グラントルースデータの取得目的は、土地被覆分類のカテゴリーである裸地・植生などを観測対象物として、その分光反射特性からNVIを算出することである。

### 2) 調査方法

現地での測定は、野外分光放射計を用いた。測定時には太陽に雲がかかっていない時を選び、時刻はLANDSATが本対象地を観測する頃である9:00から日が傾く前の15:00までの6時間の間で測定を行った。また、観測は1対象物につき10回測定した。この測定で得られた結果は、反射率を求める計算式を用いて

それぞれの対象物の反射率を算出する。

### 3) データ解析と土地被覆分類への適用

低植被地の分類作業の目安とするため、分光測定値をもとにNVIに相当する値を算出した。ここでは、衛星データから算出するNVIと同条件にするため、TM3 (630nm～690nm)とTM4 (760nm～900nm) がカバーする波長帯の範囲内に収まるデータをすべてピックアップした。そして、TM3とTM4に当たるものの平均値を求め、その結果をNVI式に当てはめて算出した。

## 6. 考察

### 1) 総合評価

USLE式と同様の式を用いた総合評価は、係数に評価因子(図3～7)の各評価をそのまま当てはめて、総合評価の値を90×90mメッシュのブロックごとで求めた。そして、評価分けにそれぞれ色を当てはめ、総合評価メッシュ図を作成した(図8)。また、総合評価の結果を視覚的に分かりやすくするため、評価に違い(土壌流出の危険性の違い)を3次元で表した(図9)。

### 2) 結果と考察

本研究の総合評価は、内田(1993)の結果と同様に北部の丘陵部の急傾斜地や植被率の低いところなどで土壌流出の危険性が高くなっている。また、年間土壌流出量が高い地域(沖縄県環境保全課 1994)と本研究の土壌流出の可能性が高い地域との一致が見られ、結果の信頼性の高さを示している。

轟川は土地改変に伴い流路を直線的に変え

られている。また、河川の大部分で護岸工事が行われており、コンクリートなどで固められている。そのため、耕地からの土壌流出がすぐに河川に流出しやすい。こういった河川周辺にも土壌流出を防ぐ人為的対策が必要であることがわかる。

本研究が、周辺の環境(例えば本地域であればサンゴ礁のリーフ内環境など)を土壌流出の汚染を計る指標となるためには、土壌環境だけでなく海洋環境を含めた評価(土壌の堆積状況や生物などへの被害状況、海底地形や海流など)が必要である。土壌環境評価と海洋環境評価をあわせた総合環境評価を行うことでより多角的な評価を期待する。

## 参考文献

- 内田論(1993): リモートセンシングによる土壌侵食地域評価手法の検討 日本写真測量学会年次学術講演会論文集, 143-148.
- 岡本勝男・山田一郎・今川俊明・福原道一(1992): ランドサットTMデータによる沖縄県北部サンゴ礁の赤土分布評価 地学雑誌, 101, 107-116.
- 沖縄県環境保健部環境保全課(1994): 平成5年度轟川流出実態調査報告書.
- 高橋直樹・村井俊治(1992): リモートセンシングを用いた環境評価手法に関する研究 日本写真測量学会年次月術講演会論文集 115-158.
- 灘岡和夫・田村英寿(1992): LANDSAT / TMデータに基づいた沖縄赤土流出問題の解析の試み 日本リモートセンシング学会誌 12, 3 -19.
- 吉嶺全二(1991): 「沖縄 海は泣いている」

高文研.

WWF (1995) : WWF ネイチャーシリーズ②

白保のサンゴ礁.

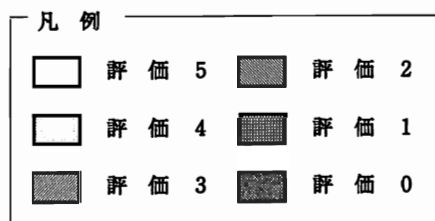
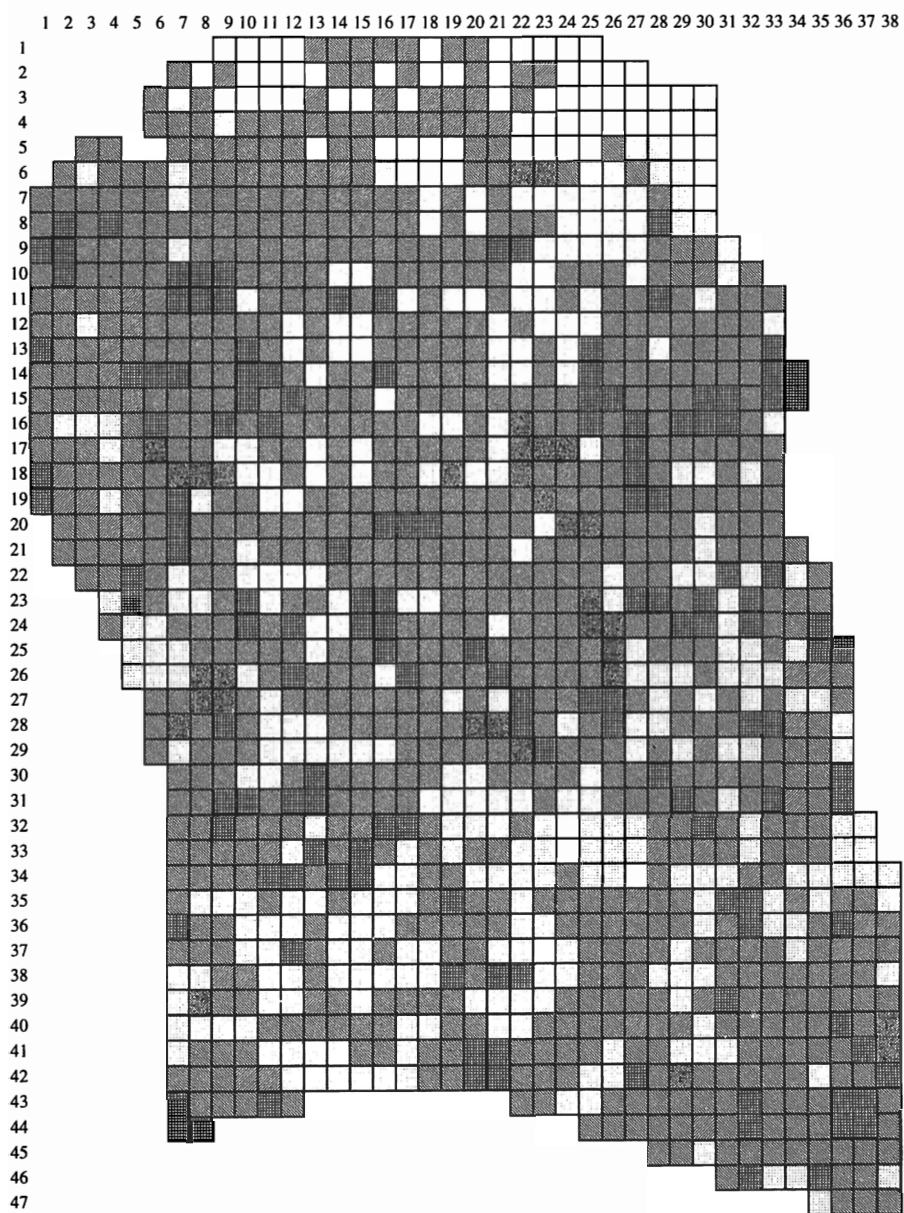


図 3 土地被覆分類図



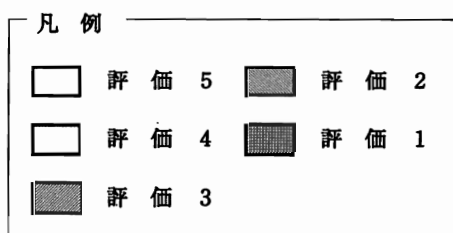
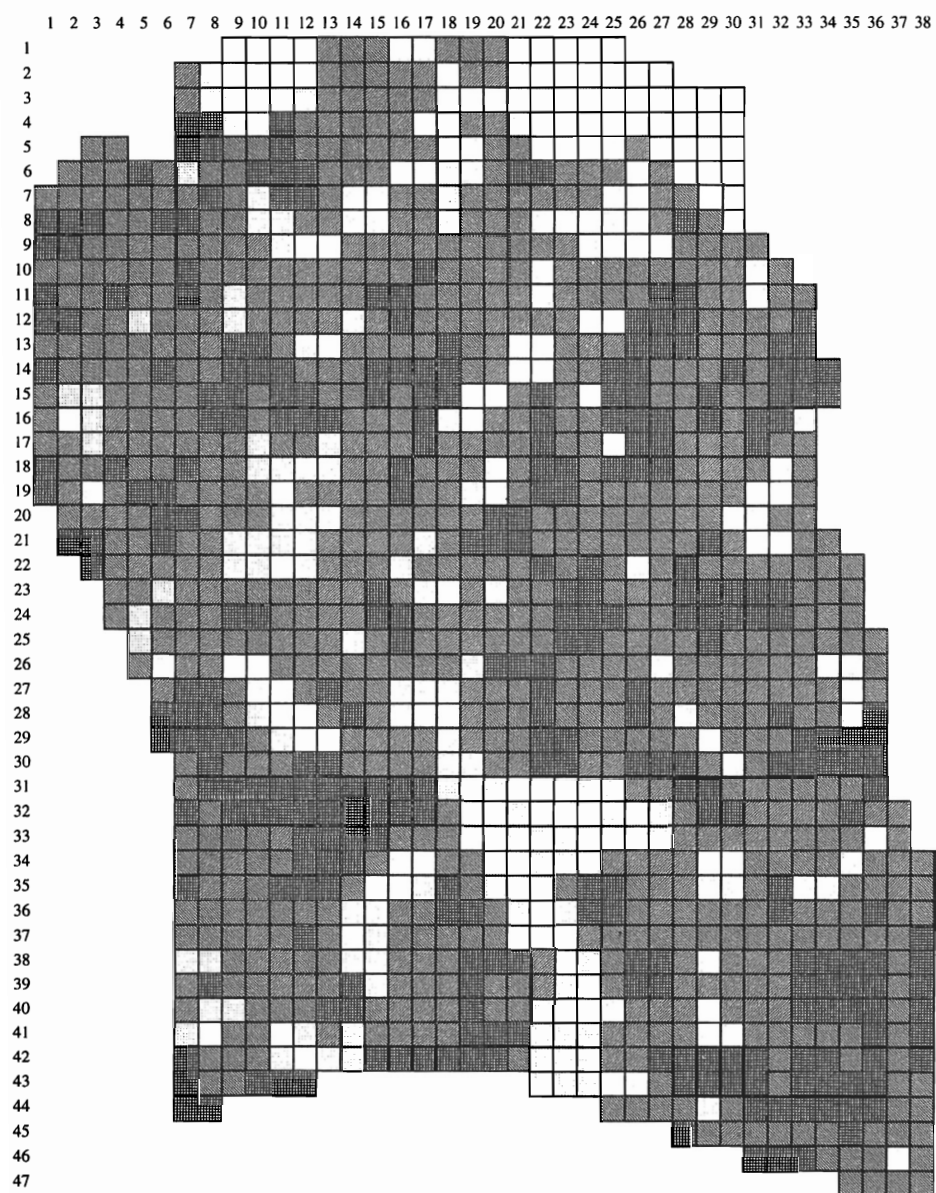


図 4 植生被覆変化状況図

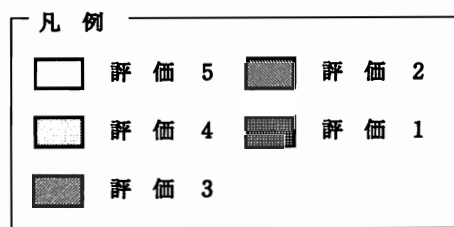
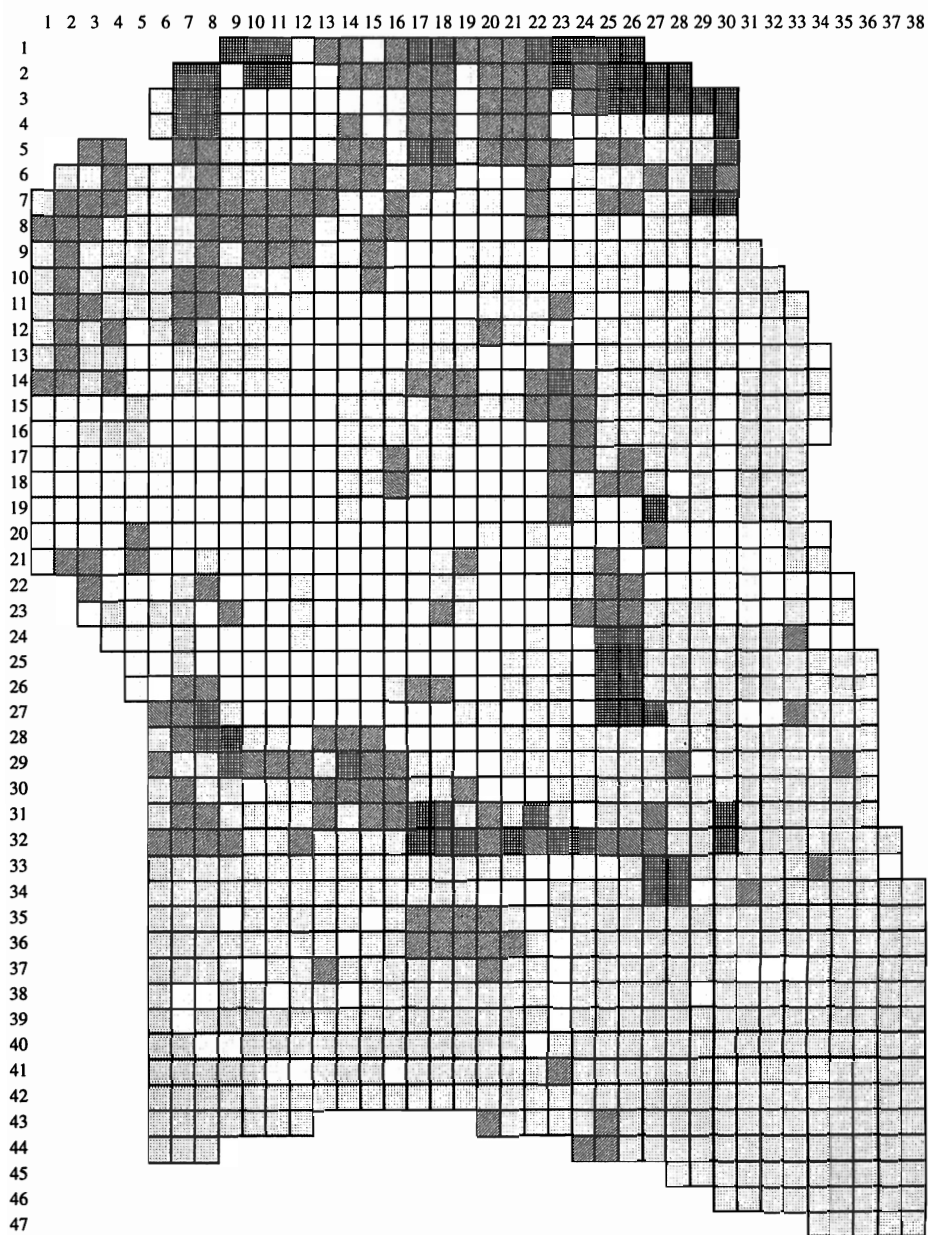


図 5 地表保水力図

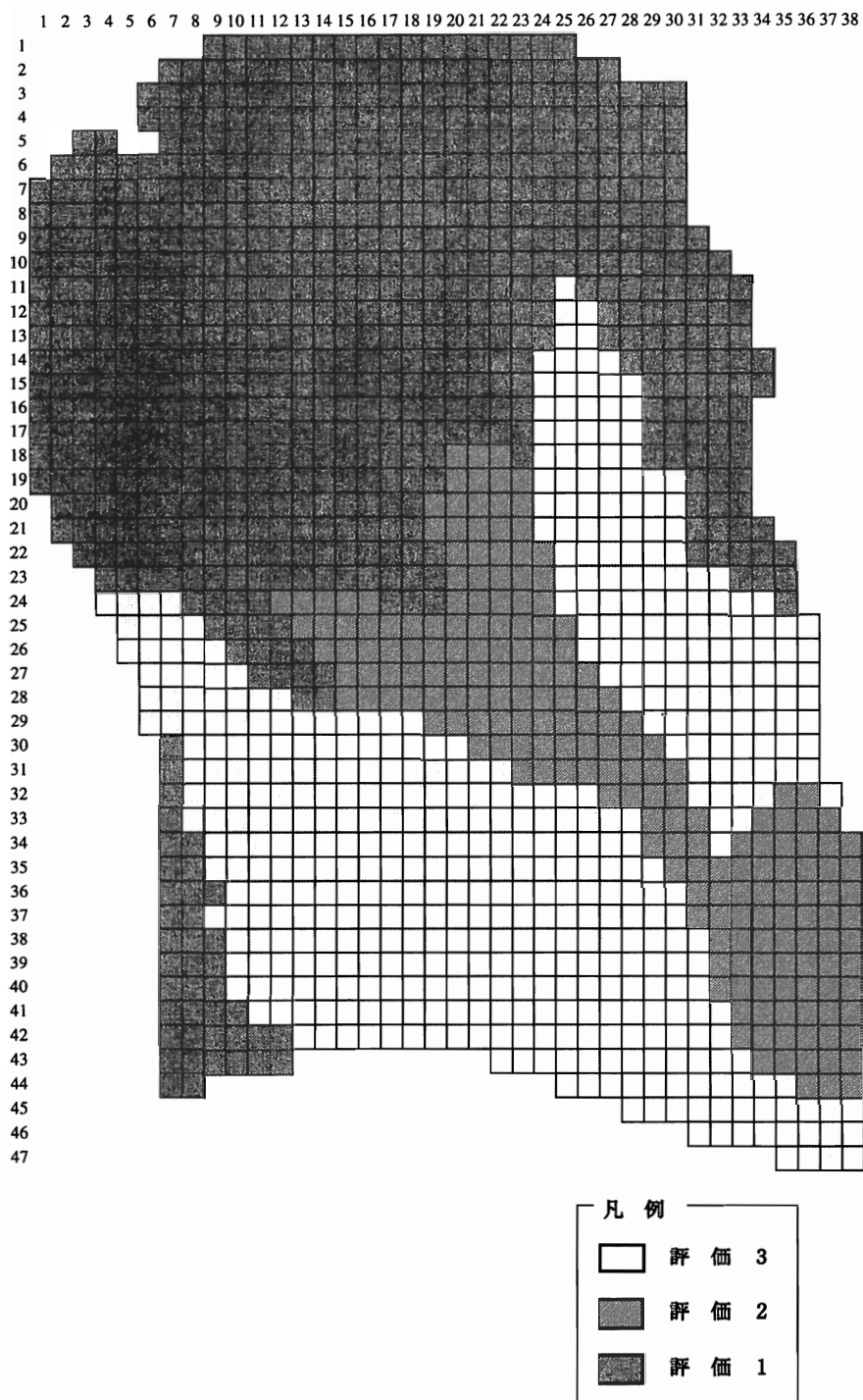


図 6 表層地層評価図

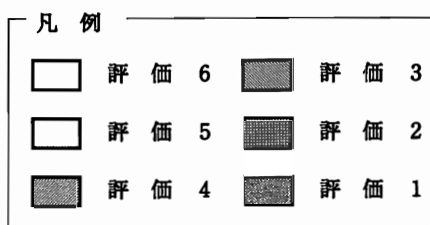
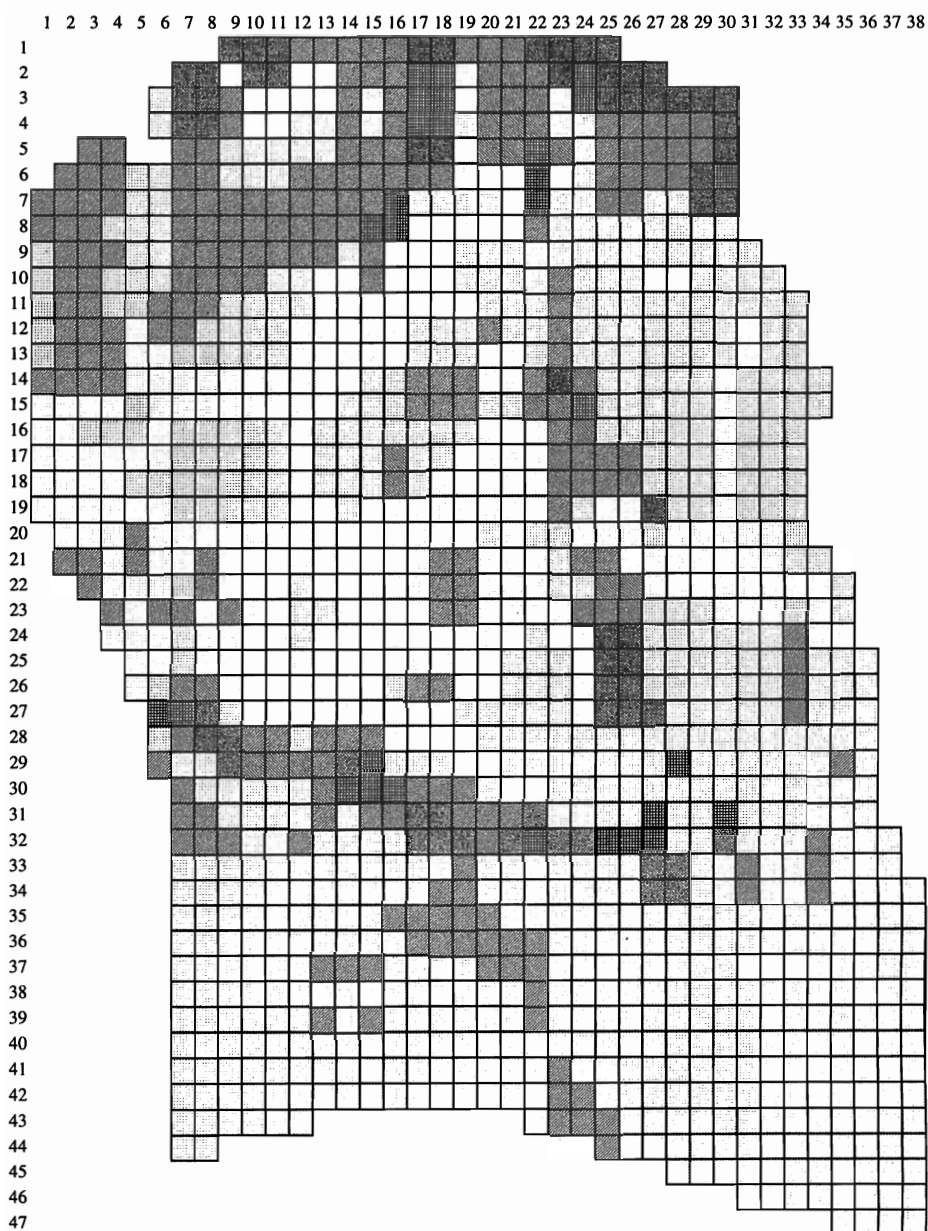


図 7 地形評価図

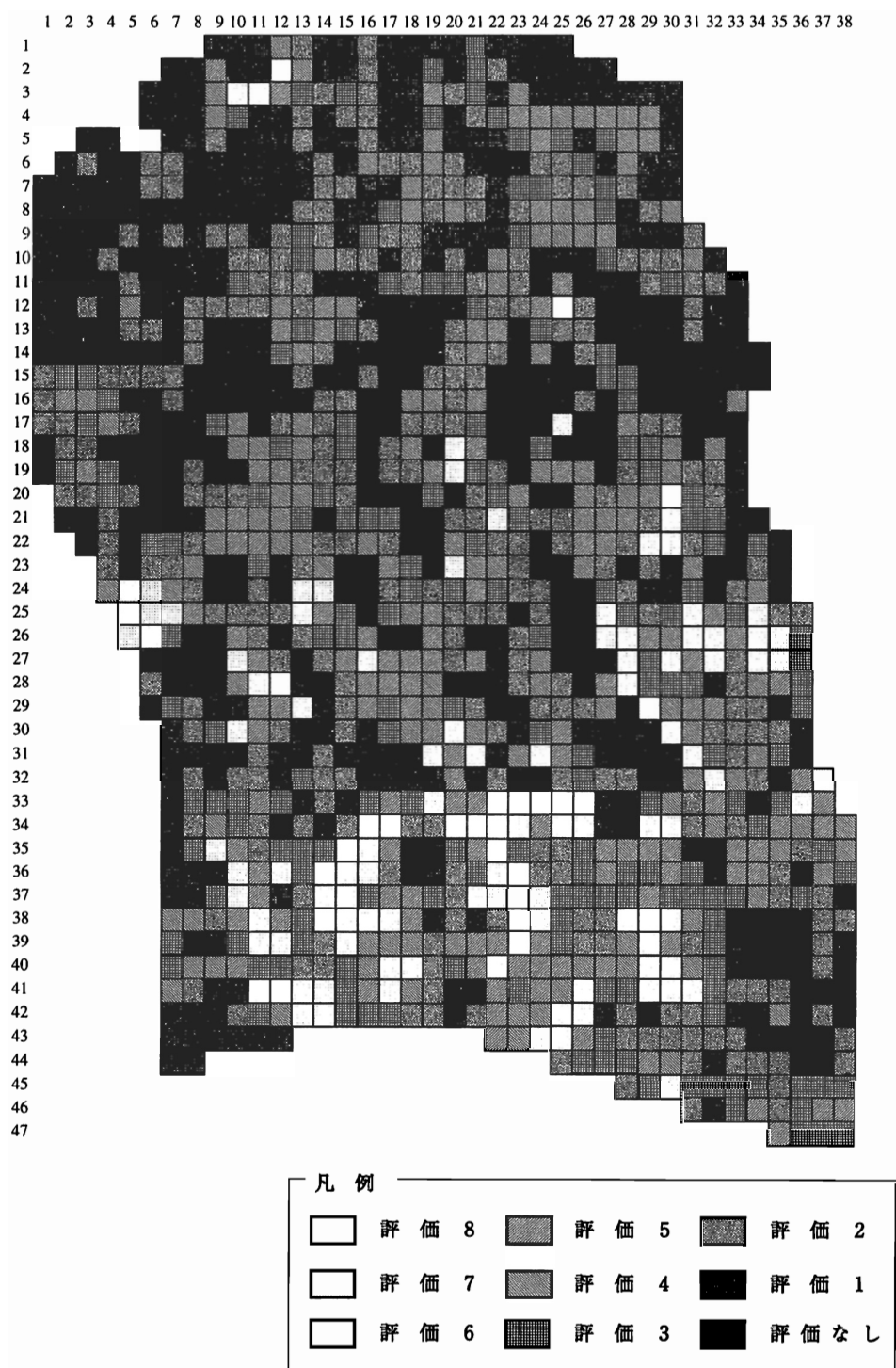


図 8 総合評価図

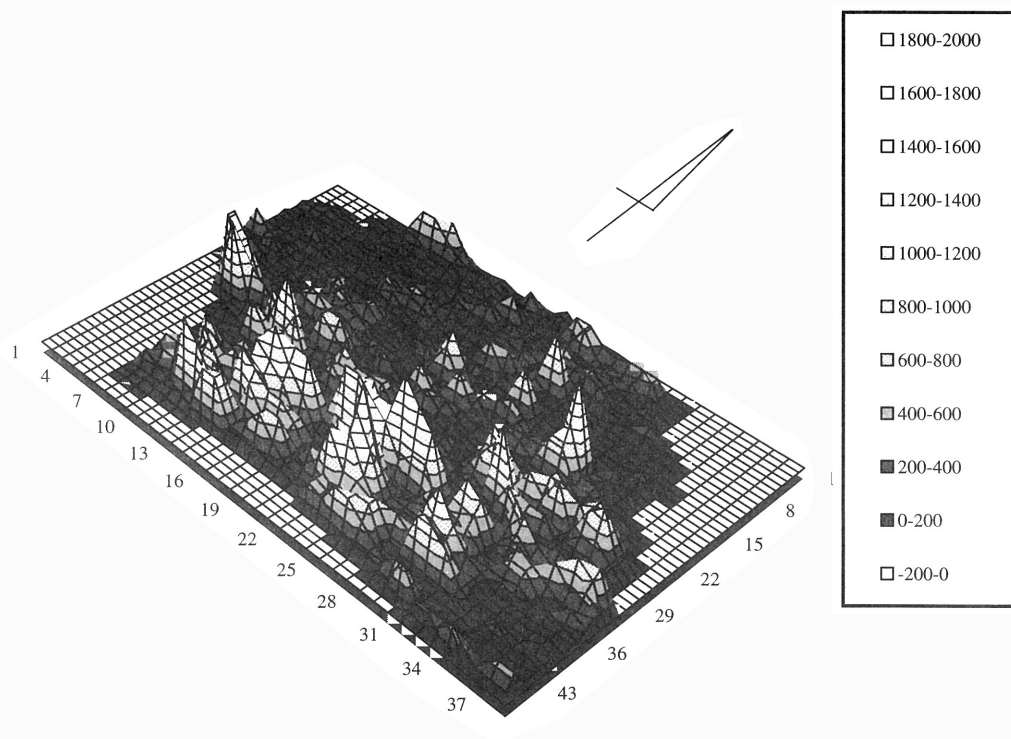


図 9 総合評価図(3次元)